

# サイレージの調製法に関する研究

(第21報) 材料作物の還元糖および全窒素含量ならびにトウモロコシサイレージの埋蔵初期における還元糖の変化

内 田 仙 二・須 藤 浩

## Studies on Silage-Making

(XXI) The Contents of Reducing Sugar and Total Nitrogen in Forage Crops and Changes of Reducing Sugar during Early Stage of Corn Silages

Senji UCHIDA and Hiroshi SUTOH

An experiment was carried out to estimate the contents of reducing sugar and total nitrogen during growth stages of soiling corn (*Zea mays L.*), Italian ryegrass (*Lolium multiflorum Lam.*), green oats (*Avena sativa L.*) and chinese milk-vetch (*Astragalus sinicus L.*), which were used frequently for silage-making in this country. Furthermore, in order to find the relationships between early fermentation of silage and reducing sugar in ensiled material, another experiment on silage-making was conducted. Namely, corn fodders harvested at 3 different growth stages (leaf, earing and milk-ripe) were stored in miniature experimental silos, respectively. Each silo was opened in 3 or 10 days after ensiling, and of each silage sample, contents of reducing sugar and organic acid as well as pH value were examined.

The results obtained were summarized as follows:

1) As the growth stage progressed, the content of reducing sugar in the corn fodder and chinese milk-vetch increased, and that in the Italian ryegrass and green oats decreased generally. The average contents of reducing sugar, total nitrogen of dry matter and a ratio of reducing sugar to total nitrogen (RS/TN) were 5.08, 1.03 (%) and 4.39 in the corn fodder, 3.05, 1.39 (%) and 2.19 in the Italian ryegrass, 3.05, 1.96 (%) and 1.56 in the green oats, and 6.98, 3.11 (%) and 2.11 in the chinese milk-vetch, respectively.

2) The corn fodders used for silage-making contained reducing sugar of 3.42 % in leaf stage, of 6.66 % in earing stage and of 6.11 % in milk stage (of dry matter). In 10 days after ensiling, disappearance of reducing sugar was 100 % in leaf-stage silage, 85 % in earing-stage silage and 69 % in milk-stage silage, and lactic acid contained in each silage was 4.43 %, 9.42 % and 6.34 % of dry matter, respectively. The pH value of the silages decreased rapidly in early stage of ensiling, except that of leaf-stage silage.

## 緒 言

サイレージの品質を支配する因子を、その材料の化学組成の面から考えると、材料中の糖質や窒素の含量が重要であり、とくに、乳酸発酵の母体となる発酵性糖質の量は、サイレージの発酵的品質、とりわけ、中・高水分サイレージの品質を支配する有力な因子となることが知

られている<sup>1)5)16)</sup>。そのためサイレージの材料について研究する際、これらの成分の検討が不可欠とされ、諸外国における調査例は少なくない<sup>2)5)6)17)</sup>。しかし、わが国の草類については、この種研究が比較的少なく、その資料は十分に得られていない。

それで、本研究は、西南暖地でサイレージ用として用いられることの多い、トウモロコシ、イタリアンライグラス、エンバク、レンゲを試料として、発酵性糖質の最も典型的な構成要素である還元糖、ならびに窒素含量の生育にともなう変化を調査した。さらに、還元糖含量差がサイレージの初期発酵に対してどのように影響するか、また、糖自体の消長はどのようになるかを追究するために、材料に生育段階の異なるトウモロコシを用いて、サイレージの埋蔵初期の還元糖の変化と有機酸、pH 価などの変化との関係を調査した。

### 実験材料 および 方法

**実験材料** 1962～1963年に本学附属農場の畑（砂質壤土）に、実用に供する目的で栽培したトウモロコシ（*Zea mays* L.）白色デントコーン、イタリアンライグラス（*Lolium multiflorum* Lam.）在来種、エンバク（*Avena sativa* L.）岡山黒および水田裏作に栽培したレンゲ（*Astragalus sinicus* L.）在来種の4草種を供試した。トウモロコシは伸長期の6月8日から完熟期の8月12日までの間に10回、イタリアンライグラスは伸長期の4月18日から乳熟期の6月13日までの間に9回、エンバクは伸長期の4月16日から乳熟期の5月28日までの間に7回、レンゲは開花初期の4月14日から開花末期の5月19日までの間に6回、それぞれ分析試料を採取し、分析に供した。

試料採取は原則として1週間隔でおこない、採取時間は、午前9時～10時の間におこなった。なお、試料採取時に生育段階の観察、草丈の測定などもあわせて実施した。

**実験方法** 1) 生草試料の処理と分析 生草の分析試料は、トウモロコシの場合は10本、他の草では約2 kgを圃場内から任意に採取した。押切で細切し、混合したのち半減法で500 gとし、電気通風乾燥器で最初30分間90℃で、その後60℃で風乾した。これをウイレ型粉碎器で粉碎した。分析方法は、乾物は105～110℃乾燥法<sup>15)</sup>により、全窒素はKJELDAHL法<sup>15)</sup>によって、さらに還元糖は生の試料を用いて糖液を調製しBERTRAND法<sup>8)</sup>によって定量した。

2) サイレージの調製ならびに分析 伸長期（6月15日）、雌穂着生期（6月29日）、乳熟期（7月19日）の各期に収穫した材料を約2 cmに細切し、5万分の1のポットに各2基ずつ埋蔵した。埋蔵後3日目と10日目にそれぞれ各1基を開封して試料を採取し、pH 価の測定<sup>10)</sup>〔ガラス電極 pH メーター（飯尾電機製 M-43 A型）〕、発酵有機酸の定量<sup>10)</sup>、アンモニア態窒素の定量<sup>15)</sup>などを実施した。また、還元糖含量は、上記生草の場合と同様の方法<sup>8)</sup>により定量した。

### 結 果

#### 生育にともなう還元糖および全窒素含量の変化

各サイレージ作物の生育にともなう還元糖および全窒素の含量を調査した。これらの結果を作物ごとに表示する。

**トウモロコシ** 6月8日（伸長期）より8月12日（完熟期）までの間に10回にわたって試料を採取して、乾物、還元糖および全窒素含量を定量した結果は、Table 1 のようである。

Table 1 に示すように、トウモロコシの還元糖含量は雌穂着生期頃より急速に増加し、成熟

Table 1. Contents of Reducing Sugar and Total Nitrogen in Soiling Corn at Different Growth Stages

Date	Growth stage	Plant height	Dry matter	Reducing sugar* (RS)	Total nitrogen* (TN)	RS/TN
June 8	Leaf	165 <sup>(cm)</sup>	17 <sup>(%)</sup>	2.70 <sup>(%)</sup>	1.03 <sup>(%)</sup>	2.62
15		206	12	3.42	1.37	2.50
22		195	13	4.14	1.31	3.16
29	Earing	235	16	6.66	1.22	5.46
July 7		280	21	6.53	1.13	5.78
12		280	20	6.32	0.92	6.87
19	Milk	340	27	6.11	0.71	8.61
27	Dough	298	29	6.13	0.96	6.39
Aug. 5		300	32	6.14	0.89	6.90
12	Ripe	300	45	2.65	0.78	3.40

\* Percentage of dry matter

期にいたるまで6%以上で経過し、その後やや下降している。全窒素含量は、1.37から0.71%の範囲にあったが、生育の前期に高く後期に移行するとともに低下している。全窒素(TN)に対する還元糖(RS)の比(RS/TN)は、生育初期に比較的低く、2~3であるが、その後徐々に高くなり、乳熟~硬化期頃6~8%となり、完熟頃少し下降した。

イタリアンライグラス 4月18日(伸長期)より6月13日(乳熟期)までの間に、9回にわたって試料を採取して、分析を実施した。各成分の含量は、それぞれTable2のようである。

Table 2. Contents of Reducing Sugar and Total Nitrogen in Italian Ryegrass at Different Growth Stages

Date	Growth stage	Plant height	Dry matter	Reducing sugar* (RS)	Total nitrogen* (TN)	RS/TN
Apr. 18	Leaf	80 <sup>(cm)</sup>	18 <sup>(%)</sup>	10.02 <sup>(%)</sup>	2.14 <sup>(%)</sup>	4.68
25		87	17	4.15	1.69	2.46
May 2	Booting	87	19	2.40	1.99	1.21
9		100	19	1.77	1.37	1.29
16	Heading	100	20	1.37	1.30	1.05
23	Flowering	115	18	1.72	1.41	1.22
30		120	22	2.02	1.11	1.82
June 6		120	24	1.52	0.89	1.71
13	Milk	125	25	2.51	0.85	2.95

\* Percentage of dry matter

Table 2より、イタリアンライグラスの還元糖含量は、生育の初期に比較的高いが生育の進行にともなって減少し、乳熟期頃再びやや増加している。全窒素含量は、生育の進行とともに減少する傾向にある。RS/TNは生育の初期に比較的高いが、徐々に下降し、乳熟頃再び少し上昇する。

エンバク 4月16日(伸長期)より5月28日(乳熟期)までの間に7回にわたって試料を採取し分析に供した。各生育期における含量はTable3に示すようである。

エンバクの還元糖含量は、生育の初期に比較的高く、生育の進行と共に減少し、全窒素含量

Table 3. Contents of Reducing Sugar and Total Nitrogen in Green Oats at Different Growth Stages

Date	Growth stage	Plant height	Dry matter	Reducing sugar* (RS)	Total nitrogen* (TN)	RS/TN
Apr.	Leaf	35 <sup>(cm)</sup>	16 <sup>(%)</sup>	5.32 <sup>(%)</sup>	2.81 <sup>(%)</sup>	1.89
		49	14	4.19	2.68	1.56
		100	18	3.06	2.57	1.20
May	Booting	100	18	3.06	2.57	1.20
	Heading	100	16	3.11	1.81	1.71
	Flowering	105	21	2.10	1.50	1.40
		105	22	1.90	1.19	1.60
	Milk	105	22	1.69	1.15	1.47

\* Percentage of dry matter

も生育にともなって減少している。RS/TN は、全期を通じて大きな変動は認められない。

レンゲ 4月14日（開花初期）より5月19日（開花後期）までの間に6回にわたって試料を採取し、分析をおこなった。これらの結果は Table 4 のようである。

Table 4. Contents of Reducing Sugar and Total Nitrogen in Chinese Milk-Vetch at Different Growth Stages

Date	Growth stage	Plant height	Dry matter	Reducing sugar* (RS)	Total nitrogen* (TN)	RS/TN
Apr.	Early-flowering	21 <sup>(cm)</sup>	13 <sup>(%)</sup>	7.36 <sup>(%)</sup>	5.30 <sup>(%)</sup>	1.39
		25	14	6.43	3.36	1.91
		45	17	11.96	3.09	3.87
May	Full-flowering	50	12	8.81	2.84	3.10
		55	13	3.66	3.10	1.18
	Late-flowering	61	15	3.67	2.16	1.70

\* Percentage of dry matter

レンゲの還元糖含量は、満開花期頃最高となり、その後やや下降気味である。全窒素含量は、生育の進行とともにやや減少する傾向にあるが変動巾は少ない。RS/TN は満開花期頃最高を示している。

#### 還元糖および全窒素含量の草種間比較

草種別の還元糖含量および全窒素含量、ならびに RS/TN 値の平均値を算出し、比較した結果は Table 5 のようである。

Table 5. Comparison of Average Contents of Reducing Sugar and Total Nitrogen in the Forage Crops

Samples	Dry matter	Reducing sugar* (RS)	Total nitrogen* (TN)	RS/TN
Soiling corn	23	5.08 <sup>(%)</sup>	1.03 <sup>(%)</sup>	4.93
Italian ryegrass	20	3.05	1.39	2.19
Green oats	18	3.05	1.96	1.56
Chinese milk-vetch	14	6.98	3.31	2.11

\* Percentage of dry matter

比較した4草種のうち、還元糖含量が最も高いのはレンゲであり、これにつづいてトウモロコシ、イタリアンライグラス、エンバクの順となった。全窒素含量は、レンゲが最も高く、エンバク、イタリアンライグラス、トウモロコシの順となった。RS/TN 値は、トウモロコシ(4.93)、イタリアンライグラス(2.19)、レンゲ(2.11)、エンバク(1.56)の順であった。

#### 埋蔵初期における還元糖の消長と発酵

還元糖含量の異なる各生育時期のトウモロコシをもって調製したサイレージの埋蔵後3日目および10日目における還元糖の含量を調査し、またこの時期における発酵有機酸、アンモニア態窒素含量ならびに pH 値を測定して、還元糖の消長と初期発酵との関係を検討した結果は Table 6 のようである。

Table 6. Changes of Reducing Sugar, Ammoniac Nitrogen and Organic Acid during Early Stage of Corn Silages

Growth stage	Days after ensiling	pH	Reducing sugar*	Ammoniac nitrogen*	Organic acid*			
					Lactic	Acetic	Butyric	Total
Leaf	0	5.65	3.42 <sup>(%)</sup> (100)	(mg/100 g)	(%)	(%)	(%)	(%)
	3	5.70	0.09 ( 3)	30 (2.2)*	4.61 (100)	0.63 (100)	0	5.24 (100)
	10	5.76	0.00 ( 0)	159 (11.6)*	4.43 ( 96)	2.86 (454)	0	7.37 (141)
Earing	0	4.73	6.66 (100)					
	3	3.92	1.16 ( 17)	25 (2.1)*	4.72 (100)	0.46 (100)	0	5.18 (100)
	10	3.72	1.03 ( 15)	67 (5.5)*	9.42 (200)	1.52 (330)	0	10.95 (184)
Milk	0	5.50	6.11 (100)					
	3	3.89	2.62 ( 43)	20 (2.8)*	3.79 (100)	1.03 (100)	0	4.82 (100)
	10	3.78	1.92 ( 31)	35 (4.9)*	6.34 (167)	1.15 (112)	0	7.49 (155)

\* On the dry matter basis

( ) Ratio of contents

( )\* Percentage of ammoniac nitrogen in silage to total nitrogen in material

Table 6 より、還元糖の含量は、各サイレージとも埋蔵後急速に減少していった。伸長期(L区)サイレージでは、埋蔵後3日間で材料中の還元糖のほとんどが消滅し、10日後には全く検出されなかった。雌穂着生期(E区)サイレージでは、3日後に材料のほぼ83%が、10日後には85%が消滅した。乳熟期(M区)サイレージでは、埋蔵後3日後に57%が、10日後までに69%が消滅した。

pH 値は、L区においては大きく変化することはなかったが、E、M両区サイレージにおいては急速な下降が認められた。アンモニアの生成は、埋蔵経過とともに増加したが、増加の比率はL区において大であった。

有機酸のうち、乳酸は埋蔵後急速に生成し、3日後にその含量はほぼ4%（乾物中）に達した。その後の1週間の伸びは、L区では停滞もしくは減少気味であったのに対し、E、M区で

はそれぞれ 4.72 → 9.42%, 3.79 → 6.34% と約倍量に増加している。酢酸含量は、乳酸の傾向と異なり、3日目から10日目の1週間の伸びはⅠ区が最も大であった。なお、埋蔵後10日間いずれの区においても酪酸は検出されなかった。

## 考 察

各草種の生育期の進行にともなう還元糖および全窒素に対する還元糖含量の比の推移は、草種により、生育時期により、それぞれ異なったパターンを示すことが知られた。すなわち、還元糖含量はトウモロコシとレンゲの場合、イタリアンライグラスやエンバクに比べ高い値であり、生育にともなう推移は、生育の初期には比較的低く、生育の進行とともに上昇し、生育の末期に再び低下している。トウモロコシ中の還元糖の推移の傾向は、JOHNSON ら<sup>9)</sup>が調査したサイレージ用トウモロコシ中の可溶性炭水化物含量の変化の傾向と類似している。なお、両草種とも養分収量などの面から、刈取り適期とされている硬化期および満開花期頃に還元糖含量が高いことが注目される。いっぽう、イタリアンライグラスおよびエンバクの場合は、前述のものに比べて一般に還元糖含量は低く、生育の初期に比較的多いが、収穫適期である出穂～開花頃減少している。これらの傾向は、従来の可溶性炭水化物含量の推移に関する研究結果<sup>9)</sup>のそれと一致しており、グラス類の特徴といえるであろう。

トウモロコシを材料としてサイレージを調製する場合、生育期に留意すれば良質なものが得られ易い<sup>13)</sup>こと、イタリアンライグラスなどの場合は、無処理では良質なものが得られにくいことが知られている<sup>12)</sup>。またいっぽう、高水分のイタリアンライグラスおよびレンゲにブドウ糖を2%添加して調製したサイレージの品質は、明らかに改善されることも認められている<sup>11)</sup>。これら従来の諸報告とともに、本実験結果は、材料の還元糖含量がサイレージの品質を支配する重要な因子の一つであることを示す資料となると思われる。

全窒素含量の生育にともなう変化は、各草種とも生育の進行とともに減少する傾向を示したが、トウモロコシの場合は急速に、エンバクおよびイタリアンライグラスの場合は徐々に減少している。いっぽう、レンゲの場合は、減少の度合いは極めて少ない。このようにそれぞれの草種によって特徴ある経過を示しているが、これらの点もサイレージ調製上考慮すべきであろう。

還元糖含量と全窒素含量の比(RS/TN)は、草種により、生育時期により、それぞれ異なり、異なった変化を示した。とくに、RS/TNの平均値は、材料により大きな差を示し、トウモロコシは高還元糖・低窒素でRS/TN値は高く、レンゲは高還元糖・高窒素でRS/TN値は中位であり、エンバクは低還元糖・高窒素に属し、RS/TN値は前2者より低くなった。著者ら<sup>14)</sup>はさきに、青刈トウモロコシと青刈ダイズを各種割合に混合してサイレージの調製試験を実施し、材料中の可溶無窒素物と粗蛋白質含量の比(NFE/CP)が、サイレージの品質を左右する因子の一つであることを認めたが、本研究結果より全窒素に対する還元糖含量の比率も、サイレージ発酵を支配する一つの因子であり、各材料の良質サイレージ調製の難易度を示す指標となり得ることを示唆しているように思われる。

以上、若干の草種のサイレージ材料としての特徴を、糖および窒素含量の面から追究してきたが、これらは、ここで取上げた条件のほか、日照、施肥、その他の条件によって左右されるものである。それら各種条件との関係については別途研究を進めている。

トウモロコシ材料中に含まれる還元糖含量の埋蔵後における変化を、そのpH値、有機酸、

アンモニア態窒素の変化との関係で調査した結果、材料中の還元糖は埋蔵後の初期に、その大半が消費されることが認められ、いっぽう、発酵有機酸、なかんずく乳酸の大半はこの期間中に生成されることが知られた。これらのことより、材料中の還元糖は、有効かつ迅速に乳酸発酵に利用され乳酸に変化することが推定された。しかし、材料中に十分量の糖が含まれる場合は、乳酸生成は3日以上にわたって継続し、pH 価は4以下に急速に下降し、アンモニアの生成が抑制され、良質サイレーズ調製の条件が整備されてゆく。逆に、材料中還元糖量が少ない場合は、乳酸生成は3日以内に停止し、pH 価の低下はほとんど認められず、アンモニアの生成が増大するなど、劣質サイレーズ調製の経過をたどる。これら3つの材料およびその埋蔵初期における各成分の消長は、材料中の発酵性糖質がサイレーズ発酵にどのように係り合っているかを示す事例であり、サイレーズ調製における糖質の重要性を物語っていると思われる。

KEARNEY ら<sup>4)</sup>は、材料の糖含量と乳酸生成との関係を埋蔵技術の面から追究し、材料の糖含量が乳酸生成のために重要なので、埋蔵後の材料の呼吸作用を速やかに停止させ、糖の消耗を防止することが大切であるとしている。また他方、McDONALD ら<sup>5)</sup>はサイレーズ中の糖の残存量は、その乾物含量によって左右されると報告している。

本実験に供用した材料は、生育時期が異なるため、乾物含量および物理的条件が多少異なっている。したがって、この成績の全てが、材料中の還元糖含量によって生じたものとすることはできまい。しかし、いずれの材料も高中水分のものであることなどから、以上の埋蔵後の経過は、還元糖など発酵性糖質含量や、窒素含量などの化学組成の差により大きく影響されたものと推定される。

## 摘 要

サイレーズ材料の特徴を、その組成の面から追究する目的で、トウモロコシ、イタリアンライグラス、エンバク、レンゲの還元糖含量および窒素含量をそれぞれ生育段階別に調査した。また、これら成分の埋蔵後の消長を知るためにトウモロコシの3つの生育期の材料を用いてサイレーズを調製し、埋蔵初期のこれらの消長を有機酸の変化などと合わせて追究した。

結果の要約は次のようである。

1) 還元糖含量は、トウモロコシでは生育とともに増加し硬化期頃最高となった(乾物中含量2.65～6.53%)。レンゲの場合も生育とともに増加し満開花期頃最高となった(3.66～11.96%)。イタリアンライグラスは生育の初期に高く、生育の進行とともに減少した(1.73～10.02%)。エンバクの場合の傾向はイタリアンライグラスに類似していた(1.69～5.32%)。

2) 各草種の還元糖(RS)、全窒素(TN)および両者の比(RS/TN)の平均値は、トウモロコシでそれぞれ5.08%、1.03%、4.93、イタリアンライグラスでそれぞれ3.05%、1.39%、2.19であり、エンバクでそれぞれ3.05%、1.96%、1.56であり、レンゲではそれぞれ6.98%、3.31%、2.11であった。

3) 埋蔵後の発酵と還元糖含量との関係を調査した結果、還元糖含量は急速に低下し、有機酸含量は増加した。材料中に還元糖が比較的少ない場合、埋蔵後早期に消失し、乳酸生成が停止した。還元糖の比較的多い場合、埋蔵後かなりの期日を経ても還元糖の一部は残存し、乳酸生成は継続し、pH 価は急速に下降した。これらのことから、サイレーズ発酵における材料中の糖含量の重要性が再確認された。

## 文 献

- 1) BARNETT, A. J. G. (1954) : Silage Fermentation (1st Ed.), 78—97, Butterworths Scientific Publication London.
- 2) HUNTER, R. A., MCINTYRE, B. L. and MCILROY, R. J. (1970) : *J. Sci. Fd Agric.*, 21, 400—405.
- 3) JOHNSON, R. R., BALWANI, T. L., JOHNSON, L. J., MCCLURE, K. E. and DEHORITY, B. A. (1966) : *J. Animal Sci.*, 25, 617—623.
- 4) KEARNEY, P. C. and KENNEDY, W. K. (1962) : *Agron. J.* 54, 114—115.
- 5) McDONALD, P., WATSON, S. J. and WHITTENBURY, R. (1966) : *Z. Tierphysiol. Tierernähr. u. Futtermittelk.*, 21, 103—110.
- 6) McDONALD, P. and HENDERSON, A. R. (1964) : *J. Sci. Fd Agric.*, 15, 395—398.
- 7) McDONALD, P., HENDERSON, A. R. and MACGREGOR, A. W. (1968) : *J. Sci. Fd Agric.*, 19, 125—132.
- 8) 永原太郎・岩尾裕之 (1958) : 食品分析法 (初版), 103—108, 柴田書店・東京.
- 9) 大山嘉信・小川キミエ (1966) : 日畜会報, 37, 336—343.
- 10) 須藤 浩 (1960) : サイレージの調製と利用法 (初版), 64—72, 養賢堂・東京.
- 11) 須藤 浩・内田仙二・安則久雄 (1964) : 岡大農学報, 24, 31—46.
- 12) 須藤 浩・内田仙二・駒口貞夫 (1967) : 岡大農学報, 29, 49—63.
- 13) 須藤 浩・内田仙二・筆保謙吾・奥島史朗 (1966) : 日草誌, 12, 59—66.
- 14) 須藤 浩・内田仙二 (1960) : 岡大農学報, 15, 57—67.
- 15) 東大農化教室 (1955) : 実験農芸化学・上 (第4版), 103—111, 朝倉書店・東京.
- 16) WATSON, S. J. and NASH, M. T. (1960) : The Conservation of Grass and Forage Crops (2nd Ed.), 226—233, Oliver and Boyd, Edinburgh.
- 17) WISEMAN, H. G., MALLACK, J. C. and JACOBSON, W. C. (1960) : *Agriculture and Food Chemistry*, 8, 78—80.

正誤表 (本報告, No. 37, pp. 61—73, 昭和43年3月発行)

ERRATA (*Sci. Rep. Agric. Okayama Univ.*, 1971, No. 37)

Page	Column	for	read
63	Table 1	Untreatment	Untreated
68	Table 8	Untreatment	Untreated
69	Table 9	Untreatment	Untreated
70	Table 10	Untreatment	Untreated
71	Table 11	Untreatment	Untreated